

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 808 366

②1 N° d'enregistrement national : 00 05298

⑤1 Int Cl⁷ : G 09 B 5/06, G 09 B 23/30, G 06 F 19/00 // G 06 F 159:00

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 26.04.00.

③0 Priorité :

⑦1 Demandeur(s) : UNIVERSITE PARIS VII - DENIS
DIDEROT — FR.

⑦2 Inventeur(s) : AZERAD JEAN, BLANCHARD JULIEN
et MAURIN YVES.

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 02.11.01 Bulletin 01/44.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦3 Titulaire(s) :

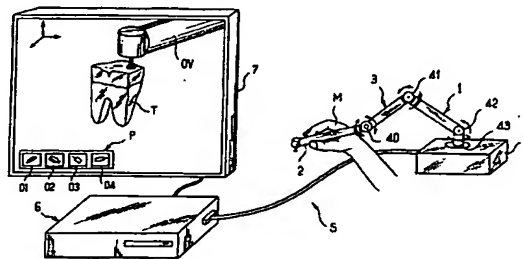
⑦4 Mandataire(s) : PONTET ET ALLANO SARL.

⑤4 PROCÉDE ET SYSTEME D'APPRENTISSAGE EN REALITE VIRTUELLE, ET APPLICATION EN
ODONTOLOGIE.

⑤7 Procédé d'apprentissage en réalité virtuelle, pour l'acquisition de gestes opératoires sur un objet, comprenant un captage d'informations de position spatiale d'un organe réel tenu à la main (2), une représentation tridimensionnelle d'un objet virtuel (T) sur un écran (7), un traitement des informations de position spatiale pour fournir une visualisation spatiale d'un organe virtuel (OV) en correspondance avec la position spatiale effective dudit organe réel (2), une fourniture d'un outil virtuel (01-04) apte à opérer sur l'objet virtuel (T) et une modélisation d'une interaction entre cet outil virtuel et cet objet virtuel (T).

L'organe réel tenu à la main (2) appartient à un dispositif d'interface homme-machine (IHM) haptique (1) comprenant des actionneurs commandés de façon à procurer à un utilisateur tenant dans sa main cet organe réel (2) un retour d'effort lorsque l'organe virtuel (OV) interagit avec l'objet virtuel (T).

Application à finalité pédagogique et professionnelle en odontologie.



BEST AVAILABLE COPY

FR 2 808 366 - A1



" Procédé et système d'apprentissage en réalité virtuelle,
et application en odontologie "

DESCRIPTION

5 La présente invention concerne un procédé
d'apprentissage en réalité virtuelle. Elle vise également
un système d'apprentissage mettant en œuvre ce procédé,
ainsi que son application en odontologie, notamment pour
la formation et la modélisation de stratégies
10 thérapeutiques.

Dans le cadre de la formation des étudiants en
chirurgie dentaire, l'apprentissage des gestes opératoires
de base est effectué le plus souvent sur des dents
naturelles prélevées post-mortem. Celles-ci, rares et
15 chères, sont d'un approvisionnement difficile qui grève
lourdement le budget des Facultés et centres de formation.
Par ailleurs, l'origine de ces dents, souvent incertaine,
expose leurs utilisateurs à des risques de contamination
inacceptables. Des dents artificielles sont
20 commercialisées, mais les plus économiques sont réalisées
dans une matière homogène ne traduisant pas la structure
de la dent (émail, dentine, pulpe), tandis que les dents
artificielles hétérogènes, plus fidèles, sont
difficilement accessibles car dépassant les budgets de
25 formation.

Plus généralement, tout apprentissage de techniques
de traitement mécanique, à des fins thérapeutiques ou
industrielles, impliquant des actions irréversibles sur
des objets solides, telles que des actions de perçage,
30 forage , grattage, gravure, peut être concerné par le
problème de l'approvisionnement en objets à traiter.

La société Denx Ltd commercialise une station de
travail dentaire en réalité virtuelle

appelée DentSim, comprenant un simulateur de patient
pourvu de capteurs reliés à un ordinateur, un équipement
complet de soins dentaires et des outils logiciels
procurant à son utilisateur une représentation
5 tridimensionnelle des mâchoires du simulateur de patient.

Le brevet US5688118 détenu par la société Denx Ltd
divulgue ainsi un système de simulation graphique, sonore
et de sensation en odontologie, comprenant un outil
portatif de fraisage comportant un capteur tridimensionnel
10 prévu pour fournir au système la position et l'orientation
spatiales de l'outil de fraisage, et une unité de
traitement et d'affichage de données. L'utilisateur de ce
système de simulation opère sur des dents artificielles
disposées dans des mâchoires artificielles d'un mannequin
15 simulant un patient. Ce système comprend en outre des
moyens pour contrôler le flux d'air comprimé fourni à
l'outil de fraisage et pour commander de cette façon sa
vitesse de rotation afin d'imiter le bruit et la sensation
correspondant à une opération de fraisage à travers des
20 couches de la dent de différentes duretés.

Si un tel système peut effectivement procurer des
moyens d'apprentissage pour la formation en odontologie,
il n'en demeure pas moins qu'il présente une structure
complexe impliquant notamment une installation
25 d'alimentation en air comprimé, ce qui induit
nécessairement un coût élevé qui ne le rend pas
nécessairement accessible à tous les centres de formation
en odontologie.

Un but principal de l'invention est de remédier à ce
30 problème en proposant un procédé d'apprentissage en
réalité virtuelle qui permette à des étudiants ou
professionnels en apprentissage ou en formation continue
l'acquisition des bons gestes et des bonnes pratiques. et

qui présente en outre un coût significativement moins élevé que celui d'une station de travail dentaire conventionnelle comportant entre autres les instruments rotatifs nécessaires.

5 Par ailleurs, au delà des besoins en apprentissage, il existe aussi, notamment au sein des cabinets dentaires, des besoins en termes de modélisation de stratégies thérapeutiques et interventionnelles, par exemple en orthodontie, où les traitements sont simulés sur des
10 typodonts, et les dents artificielles soumises aux forces orthodontiques sont enchâssées dans un support de cire qui doit être ramolli à chaud.

Un autre but de la présente invention est par conséquent de proposer une application logicielle de
15 réalité virtuelle qui procure aux praticiens un outil de modélisation pour définir une stratégie d'intervention.

Ces objectifs sont atteints avec un procédé d'apprentissage en réalité virtuelle, pour l'acquisition de gestes opératoires sur un objet, comprenant :

- 20 - un captage d'informations de position spatiale d'un organe réel tenu à la main,
- une représentation tridimensionnelle d'un objet virtuel sur un écran,
- un traitement des informations de position spatiale pour
25 fournir une visualisation spatiale d'un organe virtuel en correspondance avec la position spatiale effective dudit organe réel,
- une fourniture d'un outil virtuel apte à opérer sur l'objet virtuel et
30 - une modélisation d'une interaction entre ledit outil virtuel et ledit objet virtuel.

Suivant l'invention, l'organe réel tenu à la main appartient à un dispositif d'interface homme-machine (IHM)

haptique comprenant des actionneurs commandés de façon à procurer à un utilisateur tenant dans sa main ledit organe réel un retour d'effort lorsque l'organe virtuel interagit avec l'objet virtuel.

5 Ainsi, on peut disposer d'un procédé d'apprentissage qui ne nécessite comme infrastructure matérielle qu'un ordinateur ou station de travail informatique et un dispositif d'interface homme-machine haptique du type de ceux actuellement disponibles. A la différence du procédé
10 d'apprentissage divulgué dans le document US5688118 précité, il n'est pas nécessaire de prévoir une interaction physique réelle entre un véritable outil de fraisage et une dent artificielle. Dans la présente invention, la seule fonction mécanique réelle à fournir
15 réside dans la production d'un retour d'effort sur l'organe réel d'apprentissage tenu par l'utilisateur, ce qui réduit considérablement le coût de mise en œuvre de ce procédé du fait de la disponibilité actuelle d'interfaces homme-machine haptiques.

20 Le procédé selon l'invention peut en outre avantageusement comprendre une modélisation d'une structure hétérogène de l'objet virtuel et une génération d'informations de retour d'effort dépendant de ladite structure hétérogène et de caractéristiques fonctionnelles
25 de l'organe virtuel.

 Par ailleurs, le procédé d'apprentissage selon l'invention met en œuvre de préférence une interface logicielle entre d'une part, des fonctions de captage de position spatiale et des fonctions de commande
30 d'actionneurs de retour d'effort réalisées au sein du dispositif d'interface haptique et d'autre part, des fonctions de modélisation et de représentation

tridimensionnelle d'objets et d'outils virtuels réalisées au sein de l'ordinateur.

Suivant un autre aspect de l'invention, il est proposé un système d'apprentissage en réalité virtuelle
5 pour l'acquisition de gestes opératoires sur un objet, mettant en œuvre le procédé selon l'invention, comprenant :

- un organe réel pouvant être tenu à la main,
- des moyens pour fournir des informations de position et
10 d'orientation dudit organe réel,
- un ordinateur agencé pour fournir sur un écran une représentation tridimensionnelle d'un objet virtuel et une visualisation spatiale d'un organe virtuel en correspondance avec la position spatiale effective dudit
15 organe réel.

Suivant l'invention, ce système comprend en outre un dispositif d'interface homme-machine (IHM) haptique incluant l'organe réel pouvant être tenu à la main et comprenant des actionneurs commandés par ledit ordinateur
20 de façon à procurer à un utilisateur tenant dans sa main ledit organe réel un retour d'effort lorsque l'organe virtuel interagit avec l'objet virtuel.

Dans une forme pratique de réalisation, le dispositif d'interface homme-machine comprend en outre une structure
25 mécanique articulée conçue pour recevoir à l'une de ses extrémités l'organe réel.

Par ailleurs, le système selon l'invention peut en outre comprendre des moyens logiciels pour fournir, à titre d'organe virtuel, un outil virtuel agencé pour opérer sur
30 ledit objet virtuel, et des moyens pour modéliser une interaction entre ledit outil virtuel et ledit objet virtuel.

De préférence, les moyens de modélisation comprennent des moyens pour modéliser une structure hétérogène de l'objet virtuel et pour délivrer aux moyens de commande des informations de retour d'effort dépendant de ladite structure hétérogène et de caractéristiques fonctionnelles de l'outil virtuel.

De plus, le dispositif d'interface haptique peut en outre coopérer avec l'ordinateur pour procurer à l'utilisateur une fonction de sélection d'un outil virtuel parmi un ensemble d'outils virtuels disponibles. Par ailleurs, les moyens de modélisation comprennent en outre de préférence des moyens pour modéliser un ensemble d'objets virtuels.

L'organe réel peut être un stylet, qui présente des caractéristiques dimensionnelles et physiques semblables à celle d'un outil réel. Ce stylet peut aussi être constitué par un outil réel fixé de façon amovible à l'extrémité de la structure mécanique articulée.

Le système et le procédé d'apprentissage en réalité virtuelle peuvent être avantageusement appliqués dans le domaine de l'odontologie, dans lequel les objets virtuels sont des dents et les outils virtuels sont des outils chirurgicaux. Ces dents virtuelles peuvent être insérées dans une mâchoire virtuelle qui peut elle-même faire partie intégrante d'une tête virtuelle.

Cette application peut tout autant concerner la formation en odontologie que la modélisation de stratégies thérapeutiques.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront encore dans la description ci-après. Aux dessins annexés donnés à titre d'exemples non limitatifs:

- la figure 1A est un schéma synoptique d'un système d'apprentissage en réalité virtuelle selon l'invention, dans lequel l'organe réel est un outil de fraisage;
- la figure 1B illustre un mode particulier de réalisation dans lequel l'organe réel est un stylet ;
- la figure 2A est une vue en coupe simplifiée d'une dent traitée dans le procédé selon l'invention ;
- la figure 2B est un schéma fonctionnel de génération d'un retour d'effort dans un procédé de réalité virtuelle haptique selon l'invention ; et
- la figure 3 est un schéma synoptique d'un logiciel implémentant le procédé de réalité virtuelle haptique selon l'invention.

On va maintenant décrire, en référence à la figure 1A, la structure générale d'un système d'apprentissage en réalité virtuelle selon l'invention. Ce système S comprend un dispositif d'interface haptique 1 comprenant un bras articulé 3 comportant à son extrémité libre un organe réel 2, par exemple un outil de fraisage ou une représentation factice ou copie d'un outil de fraisage, pouvant être pris par la main M d'un utilisateur, et un ordinateur 6 auquel ce dispositif d'interface haptique est connecté.

Le système d'apprentissage en réalité virtuelle selon l'invention peut avantageusement mais non limitativement mettre en œuvre le système haptique PHANTOM™/GHOST® produit et commercialisé par la société SensAble Technologies Inc, qui inclut un dispositif d'interface haptique complet à retour d'effort.

Le bras articulé 3 comprend par exemple 3 articulations 40, 41, 42 et une liaison rotative 43 à un socle 3 contenant des circuits électroniques d'alimentation et de commande. Chaque articulation est pourvue d'un capteur de position angulaire et d'un

actionneur électrique, par exemple un actionneur piézoélectrique ou toute autre technologie de conversion électromécanique pouvant procurer un retour d'effort.

L'ordinateur 6 est pourvu d'un écran 7 permettant de
5 visualiser une représentation tridimensionnelle d'une dent virtuelle T et d'un outil virtuel OV en action sur cette dent virtuelle, ainsi qu'une palette P d'outils virtuels 01-04 accessibles à l'utilisateur du système.

Il est à noter qu'on peut également prévoir que le
10 bras articulé 30 soit pourvu à son extrémité d'un simple stylet 20 que l'utilisateur peut tenir dans sa main, en référence à la figure 1B.

On va maintenant décrire, en référence aux figures 2A et 2B, le traitement de la structure hétérogène d'une dent
15 mis en œuvre dans le procédé de réalité virtuelle haptique selon l'invention.

On considère une dent virtuelle T dont la structure hétérogène a été préalablement modélisée spatialement en prenant en compte différentes zone internes d'une dent :
20 l'émail E, la dentine D et la pulpe P. Lors d'une action de forage F réalisée depuis le sommet de la dent virtuelle T, les trois zones E, D et F sont successivement traversées. Un modèle MH de la structure hétérogène est développé pour associer à chaque zone un niveau spécifique
25 de résistance mécanique R.

Lorsqu'une action réelle de déplacement du stylet-outil 2 est réalisée par l'utilisateur, les capteurs du dispositif d'interface haptique 1 fournissent des informations de position spatiale du stylet-outil qui sont
30 traitées pour déterminer le niveau d'interaction entre l'outil virtuel OV et la dent virtuelle T et pour obtenir une modélisation tridimensionnelle de la dent opérée qui prend en compte le modèle hétérogène MH. De cette

modélisation, on peut générer des informations sur les efforts dus à la résistance variable des différentes zones de la dent virtuelle, et ces informations sont traduites en commandes des actionneurs du dispositif d'interface haptique qui procure finalement à l'utilisateur un retour d'effort.

Le logiciel L développé pour l'implémentation du procédé de réalité virtuelle haptique selon l'invention dans le contexte particulier de l'odontologie, comprend par exemple en référence à la figure 3, un logiciel LP de pilotage du dispositif d'interface haptique 1 possédant toutes les fonctionnalités de base nécessaires à une application à orientation odontologique, et un logiciel LU d'interface utilisateur adapté au secteur de commercialisation du système de réalité virtuelle selon l'invention.

Le logiciel de pilotage LP assure le traitement des informations de position reçues des capteurs, la commande des actionneurs de retour d'effort, la modélisation tridimensionnelle d'une dent virtuelle, d'outils virtuels et de l'interaction dent/outil, et le calcul des retours d'effort.

Le logiciel d'interface utilisateur LU assure la représentation graphique tridimensionnelle des dents et outils virtuels, la gestion d'une bibliothèque de dents et d'outils virtuels, le contrôle de commandes graphiques telles que des commandes de zoom, translation, rotation, etc..., et la sélection d'outils virtuels dans une palette d'outils disponibles.

Le stylet-outil 2 peut être de forme banalisée ou encore être de type amovible et présenter les caractéristiques dimensionnelles et physiques (poids,

matériau et surface externe) d'un outil de chirurgie dentaire.

Le logiciel de pilotage permet l'affichage et la manipulation d'objets tridimensionnels en rendu réaliste, et leur modification par des outils virtuels. La résistance du matériau constitutif des objets virtuels est prise en compte par retour d'effort sur le bras articulé dont la manipulation est d'autant plus difficile que l'objet virtuel est résistant.

L'ordinateur doit être choisi suffisamment puissant pour mettre en œuvre de manière fluide des objets tridimensionnels réalistes. A titre d'exemple non limitatif, on peut utiliser une machine de type PC, bi-processeur, un processeur étant dédié aux fonction d'affichage tandis que l'autre processeur est dédié aux fonction de calcul.

L'application du système et du procédé de réalité virtuelle haptique selon l'invention à l'odontologie implique une modélisation de l'ensemble des types de dents traitées et d'une panoplie d'outils chirurgicaux de base en odontologie. Il s'agit notamment des fraises et des turbines à vitesse fixe ou variable, avec différents modèles de mèches de forage, ainsi que des crochets, des moules, des tétons d'ancrage (brackets) et arcs orthodontiques.

Les fonctions principales qui sont assurée par le système d'apprentissage en réalité virtuelle selon l'invention peuvent comprendre:

- une prise en compte d'un facteur d'échelle réglable de la représentation virtuelle par rapport au monde réel,
- des fonctions d'action mécanique sur une dent virtuelle, notamment de forage, de grattage, d'ajout de matière

(obturations à l'amalgame ou aux résines composites) et d'impression d'une forme avec un moule,

- une représentation de la structure hétérogène de la dent avec variation de la résistance,

- 5 - une homothétie dans la représentation virtuelle relative de la dent et de l'outil, quel que soit le niveau de zoom,
- une corrélation entre la vitesse de rotation de l'outil et la diminution de la résistance, pour chaque composant de la dent : émail, dentine, pulpe.

10 A titre optionnel, on peut également prévoir les fonctions suivantes :

- une possibilité d'agrandir l'écartement de la mâchoire,
- un retour d'effort vibratoire (buzz) sur le bras de l'utilisateur, simulant l'utilisation d'une fraise,
15 - un durcissement avec le temps d'une matière rajoutée sur une dent virtuelle,
- une possibilité de composer un modèle personnalisé en sélectionnant des dents à insérer dans une mâchoire.

Dans le cadre de la présente invention, une bibliothèque
20 de dents virtuelles peut être mise en place pour couvrir les variétés de dents rencontrées dans l'exercice de l'odontologie. Ces dents virtuelles peuvent être visualisées individuellement, ou insérées dans une mâchoire virtuelle qui peut être elle-même insérées dans
25 un visage virtuel.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention. Ainsi, d'autres structures de dispositif
30 d'interface haptique que celle qui vient d'être décrite peuvent être envisagés. Par ailleurs, on peut prévoir que le dispositif d'interface haptique soit connecté à un

ordinateur distant via un ou plusieurs réseaux de communication, notamment via Internet.

On peut aussi prévoir au sein du système d'apprentissage selon l'invention des moyens pour émettre
5 des signaux sonores prédéterminés en réponse à des interactions prédéterminées entre l'organe virtuel et l'objet virtuel. Ces signaux sonores peuvent inclure une simulation du bruit des outils réels qui peut varier en fonction notamment de la vitesse de rotation de l'outil et
10 de la couche physiologique traversée, ou bien encore une simulation de la réaction d'un patient en réponse au geste opératoire pratiqué. De plus, ce système peut aussi comprendre des moyens pour modéliser des effets thermiques au sein de l'objet virtuel lors d'interactions avec
15 l'organe virtuel.

REVENDECATIONS

1. Procédé d'apprentissage en réalité virtuelle, pour
5 l'acquisition de gestes opératoires sur un objet,
comprenant :
- un captage d'informations de position spatiale d'un organe réel tenu à la main (2, 20),
 - une représentation tridimensionnelle d'un objet virtuel
10 (T) sur un écran (7),
 - un traitement des informations de position spatiale pour fournir une visualisation spatiale d'un organe virtuel en correspondance avec la position spatiale effective dudit organe réel (2),
 - 15 - une fourniture d'un outil virtuel (OV) apte à opérer sur l'objet virtuel (T) et une modélisation d'une interaction entre ledit outil virtuel (OV) et ledit objet virtuel (T), caractérisé en ce que l'organe réel tenu à la main (2, 20) appartient à un dispositif d'interface homme-machine (IHM)
 - 20 haptique (1) comprenant des actionneurs commandés de façon à procurer à un utilisateur tenant dans sa main ledit organe réel (2) un retour d'effort lorsque l'outil virtuel (OV) interagit avec l'objet virtuel (T).
- 25 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une modélisation d'une structure hétérogène de l'objet virtuel (T) et une génération d'informations de retour d'effort dépendant de ladite structure hétérogène et de caractéristiques fonctionnelles
- 30 de l'outil virtuel (OV).
3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il met en œuvre une interface

logicielle entre d'une part, des fonctions de captage de position spatiale et des fonctions de commande d'actionneurs de retour d'effort réalisées au sein du dispositif d'interface haptique et d'autre part, des
5 fonctions de modélisation et de représentation tridimensionnelle d'objets et d'outils virtuels réalisées au sein de l'ordinateur.

4. Système (S) d'apprentissage en réalité virtuelle pour
10 l'acquisition de gestes opératoires sur un objet, mettant en œuvre le procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant :

- un organe réel (2, 20) pouvant être tenu à la main,
- des moyens pour fournir des informations de position et
15 d'orientation dudit organe réel,
- un ordinateur (6) agencé pour fournir sur un écran (7) une représentation tridimensionnelle d'un objet virtuel (T) et une visualisation spatiale d'un organe virtuel en correspondance avec la position spatiale effective dudit
20 organe réel (2),

caractérisé en ce qu'il comprend en outre un dispositif d'interface homme-machine (IHM) haptique (1) incluant l'organe réel pouvant être tenu à la main (2) et comprenant des actionneurs commandés par ledit ordinateur
25 (6) de façon à procurer à un utilisateur tenant dans sa main ledit organe réel (2) un retour d'effort lorsque l'organe virtuel (OV) interagit avec l'objet virtuel (T).

5. Système (S) selon la revendication 4, caractérisé en ce
30 que le dispositif d'interface homme-machine (1) comprend en outre une structure mécanique articulée (3) conçue pour recevoir à l'une de ses extrémités l'organe réel (2).

6. Système (S) selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens logiciels pour fournir, à titre d'organe virtuel, un outil virtuel (OV) agencé pour opérer sur ledit objet virtuel (T), et des moyens pour modéliser une interaction entre
5 ledit outil virtuel (OV) et ledit objet virtuel (T).

7. Système (S) selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que les moyens de modélisation
10 comprennent des moyens pour modéliser une structure hétérogène de l'objet virtuel (T) et pour délivrer aux moyens de commande des informations de retour d'effort dépendant de ladite structure hétérogène et de caractéristiques fonctionnelles de l'outil virtuel (OV).

15
8. Système (S) selon l'une des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que le dispositif d'interface haptique (1) coopère avec l'ordinateur (6) pour procurer à l'utilisateur une fonction de sélection d'un outil virtuel
20 (OV) parmi un ensemble d'outils virtuels disponibles (01-04).

9. Système (S) selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, caractérisé en ce que les outils virtuels comprennent
25 un outil (OV) comprenant une pièce en rotation à vitesse réglable.

10. Système (S) selon l'une quelconque des revendications 4 à 9, caractérisé en ce que les moyens de modélisation
30 comprennent en outre des moyens pour modéliser un ensemble d'objets virtuels.

11. Système (S) selon l'une des revendications 4 à 10, caractérisé en ce que l'organe réel est un stylet (20).

12. Système (S) selon la revendication 11, caractérisé en
5 ce que le stylet présente des caractéristiques dimensionnelles et physiques semblables à celle d'un outil réel.

13. Système (S) selon la revendication 11, caractérisé en
10 ce que le stylet est constitué par un outil réel (2) fixé de façon amovible à l'extrémité de la structure mécanique articulée (3).

14. Système (S) selon l'une des revendications 4 à 13,
15 caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens pour émettre des signaux sonores prédéterminés en réponse à des interactions prédéterminées entre l'organe virtuel (OV) et l'objet virtuel (T).

20 15. Système (S) selon l'une des revendications 4 à 14, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens pour modéliser des effets thermiques au sein de l'objet virtuel (T) lors d'interactions avec l'organe virtuel (OV).

25 16. Application du système et du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes en odontologie, dans laquelle les objets virtuels sont des dents et les outils virtuels sont des outils chirurgicaux.

30 17. Application selon la revendication 16, dans laquelle des dents virtuelles peuvent être insérées dans une mâchoire virtuelle.

18. Application selon la revendication 17, dans laquelle la mâchoire virtuelle est insérée dans une tête virtuelle.

19. Application du système selon l'une quelconque des
5 revendications 4 à 15 et du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 pour la formation en odontologie.

20. Application du système et du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, pour la
10 modélisation de stratégies thérapeutiques.

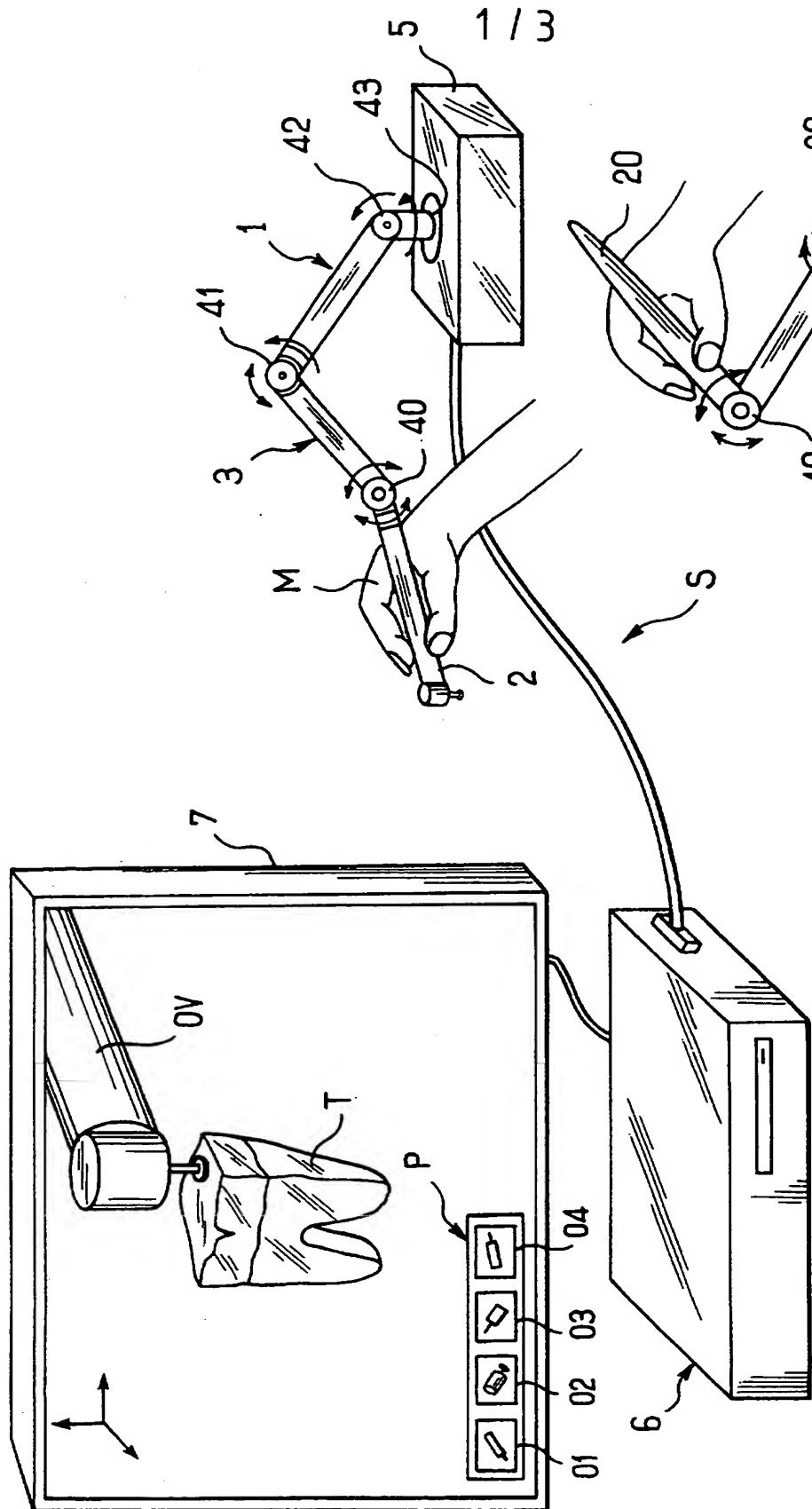


FIG. 1A

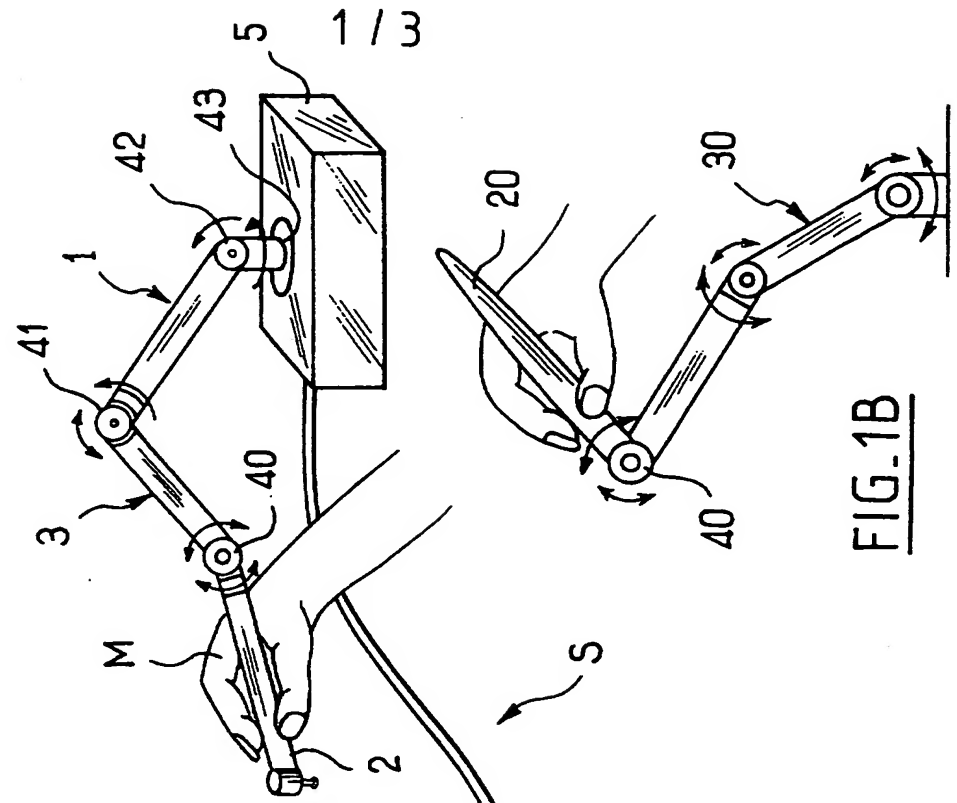


FIG. 1B

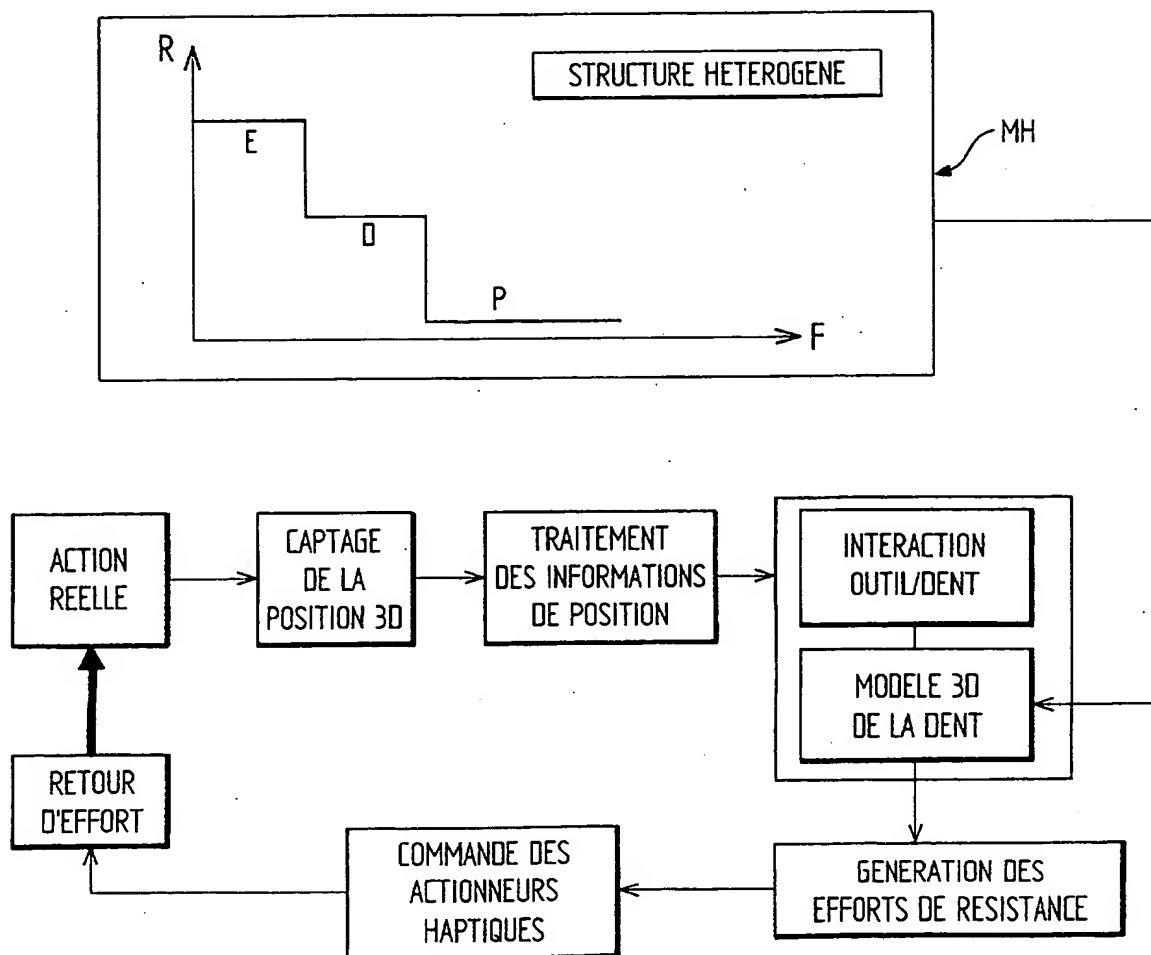
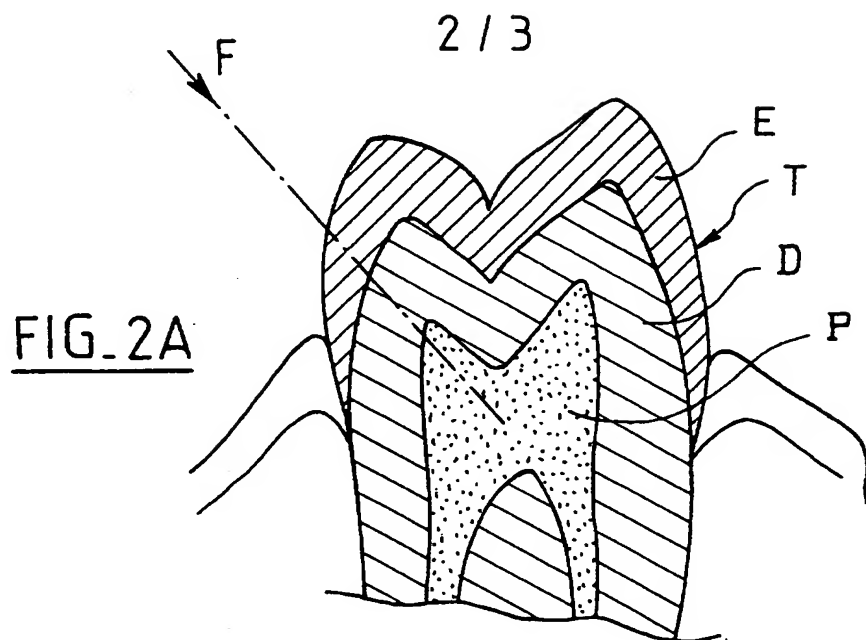


FIG. 2B

3 / 3

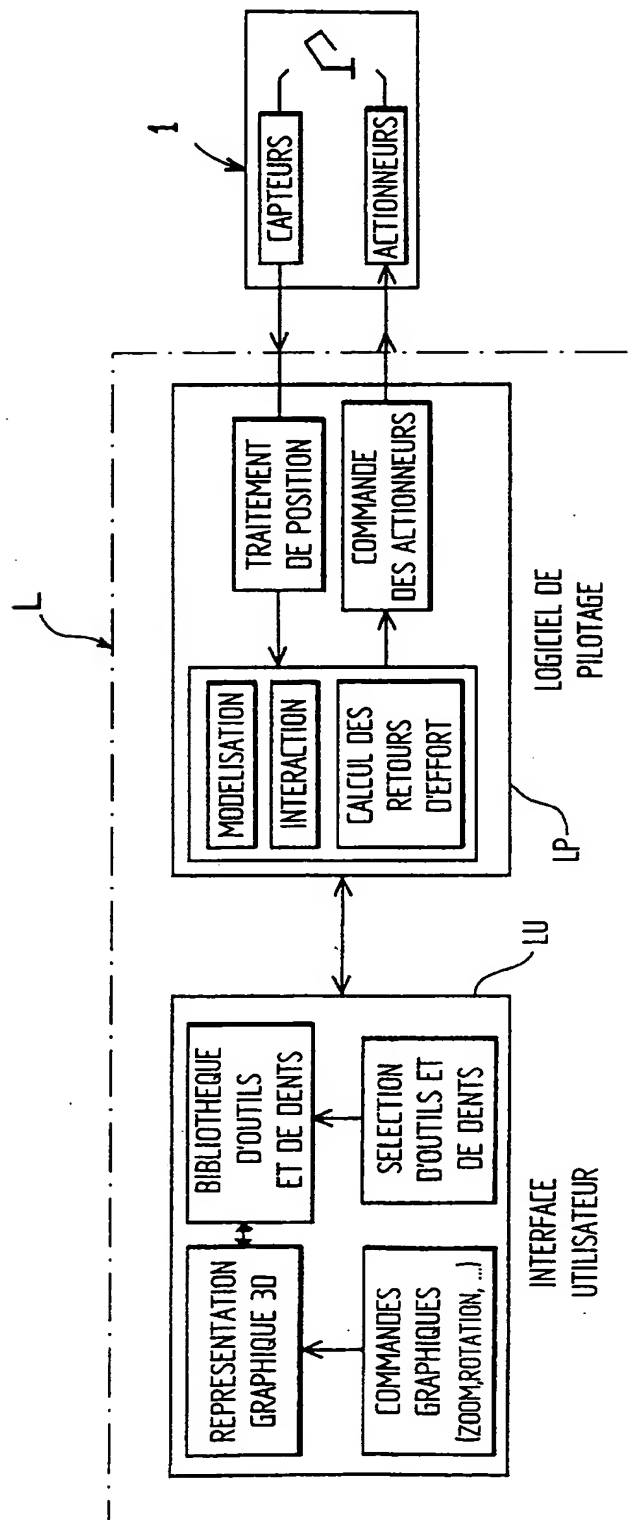


FIG. 3



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

2808366

N° d'enregistrement
nationalFA 588231
FR 0005298

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	WO 99 42978 A (BOSTON DYNAMICS INC) 26 août 1999 (1999-08-26) * page 7, ligne 16 - ligne 20; figure 4 *	1,2,4-6	G09B5/06 G09B23/30 G06F19/00
X	US 5 800 179 A (BAILEY BRADFORD E) 1 septembre 1998 (1998-09-01) * colonne 4, ligne 65 - colonne 5, ligne 10; revendications *	1,4	
X	WO 99 39317 A (FELDMAN BEN ; ALEXANDER DAVID (US); BROWN J MICHAEL (US); CABAHUG E) 5 août 1999 (1999-08-05) * page 8, ligne 17 - ligne 20 *	1,4	
X	WO 99 17265 A (BOSTON DYNAMICS INC) 8 avril 1999 (1999-04-08) * page 6, ligne 23 - ligne 28; figure 3 *	1,4-6	
X	US 5 828 197 A (ROSENBERG LOUIS B ET AL) 27 octobre 1998 (1998-10-27) * colonne 7, ligne 17 - ligne 44 *	1,4-6	
X	GB 2 288 686 A (UNIV BRISTOL) 25 octobre 1995 (1995-10-25) * page 9, ligne 14 - ligne 21 *	1,4	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7) G09B
X	WO 96 28800 A (HIGH TECHSPLANATIONS INC) 19 septembre 1996 (1996-09-19) * page 5, ligne 7 - ligne 21; revendications *	1,4	
X	WO 96 16389 A (STANOFF JOHN E JR ; MOORE ROBERT S (US); HARTMAN LEWIS JOHN III (US) 30 mai 1996 (1996-05-30) * revendication 1 *	1,4	
-/--			
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
8 février 2001		Heywood, C	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

2808366

N° d'enregistrement
nationalFA 588231
FR 0005298

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 5 769 640 A (GRIFFIN JENNIFER L ET AL) 23 juin 1998 (1998-06-23) * colonne 5, ligne 36 - ligne 49; revendications *	1,4	
X	US 5 766 016 A (PEIFER JOHN W ET AL) 16 juin 1998 (1998-06-16) * revendications *	1,4	
D,A	US 5 688 118 A (EYTAN LIAT ET AL) 18 novembre 1997 (1997-11-18) * le document en entier *	1-20	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
8 février 2001		Heywood, C	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.